

Florian Eigner | Dr. Sascha Ullmann

Biomechatronische Systeme zur Steigerung der Ergonomie im Operationssaal - BiSOP



Zeitraum: 01.08.2024 – 31.07.2027
Fördermittelgeber: Sächsische Aufbaubank



TU Chemnitz, Professur Adaptronik & Funktionsleichtbau



Universität Leipzig, Zentrum zur Erforschung des Stütz- und Bewegungsapparates

www.imk-ic.com

Warum ein Exoskelett für den OP?

Alternde Erwerbsbevölkerung erhöht den Bedarf an gesundheitserhaltenden Maßnahmen

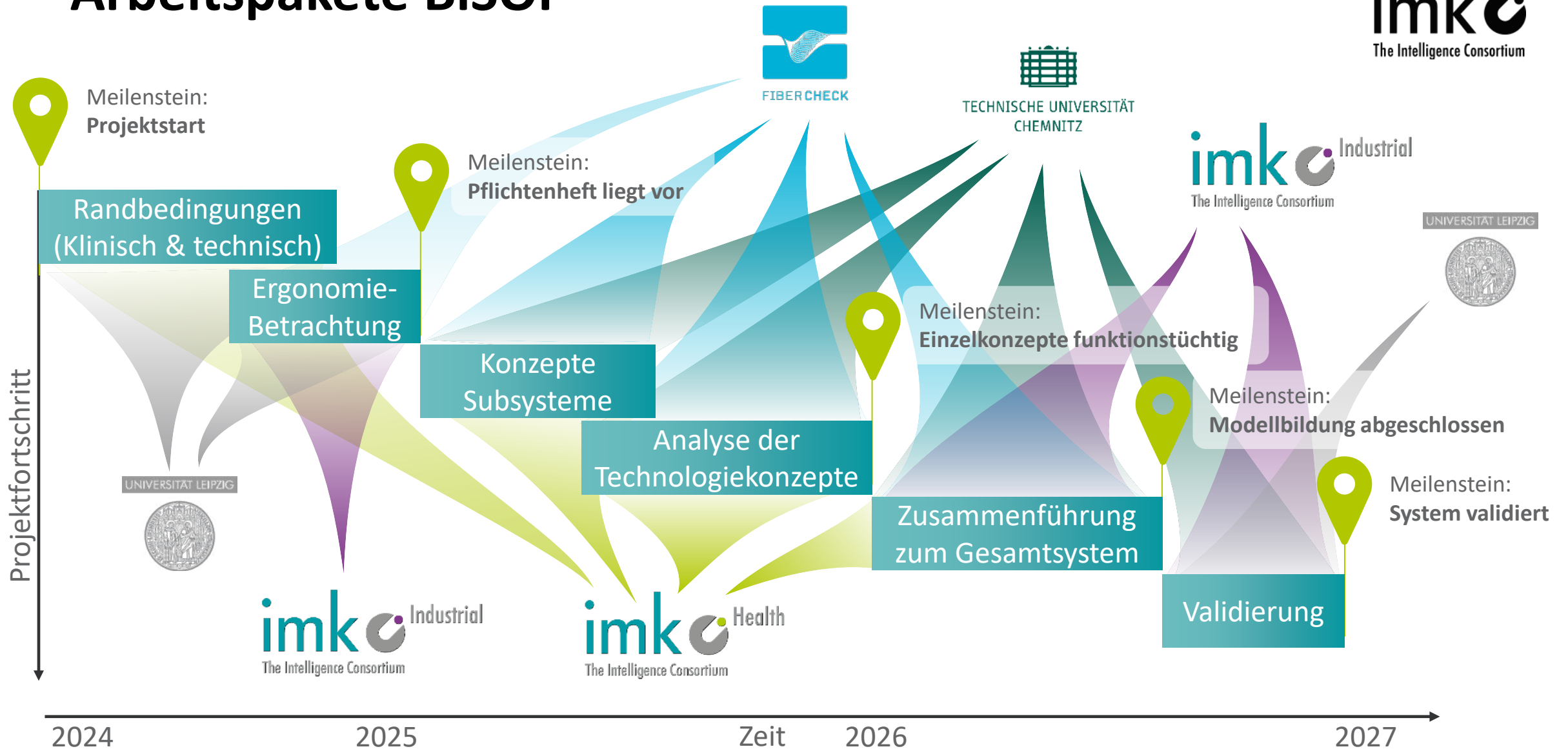
- Altersstruktur von 465 000 Ärztinnen und Ärzten in Human- und Zahnmedizin:
 - 19,2 % sind 60+ Jahre alt
 - 46,9 % sind 50+ Jahre alt

Spezifische Anforderungen im OP-Bereich sind aktuell durch kein Exoskelett auf dem Markt erfüllt

- Kraft- und Ausdauerunterstützung im Hand-Finger-Bereich
- Erkennung und Unterstützung von Griffen
- Energieloses Halten von Griffpositionen
- Keine Einschränkungen beim präzisen Arbeiten



Arbeitspakete BiSOP



Ziele des Forschungsprojektes BiSOP

Projektpartner übergreifend

Erforschung von Technologien zur Entwicklung eines neuartigen Unterarm-Exoskeletts für den klinischen Alltag

- Aktive Kraftunterstützung im Hand-Finger-Bereich
- Aktive Unterstützung der Bewegungsführung
- Unterstützung der Hand-Finger-Position bei statischen Fein- und Grobmotorik-Aufgaben
- Einsatz in diversen Operationsszenarien
- Unterstützung bei ermüdender Haltearbeit
- Erhalt der Konzentrationsfähigkeit bei ausdauernden Belastungen



Projektgegenstand der imk Health

Die imk Health Intelligence GmbH ist im Projekt verantwortlich für die Umsetzung der Antriebsbewegungen.

Defizitanalyse der bestehenden Systeme

- Welche Systeme gibt es?
- Wie werden diese aktuiert?
- Was haben diese Systeme für Vor- und Nachteilen

Entwurf, Erprobung und Bewertung neuartiger Kraftübertragungsmechanismen

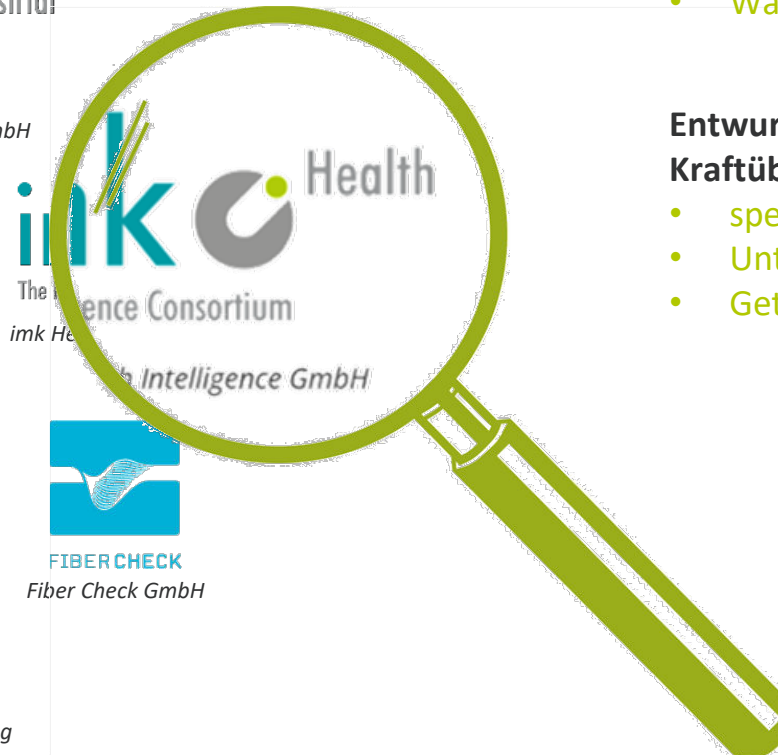
- spezieller Seilzug
- Unter-aktuierte Systeme
- Getriebe aus (teil-) nachgiebigen Strukturen

Antriebstechnologien zu Bewegungsführung

- mit welchen Aktuatoren bewegt man das Exoskelett
- Elektrische Antriebe sinnvoll ja/nein?
- Fluidische Antriebe sinnvoll ja/nein?

Mechanismen zu Bewegungsführung

... Welche Möglichkeiten hat man, die anatomische Bewegung nachzubilden (ohne Antrieb), um möglichst geringe Querbelastung zu erzeugen



FIBER CHECK
Fiber Check GmbH

Identifikation der Anwendungsszenarien

Zur Identifizierung der Anforderungen wurde eine Vorstudie durchgeführt.

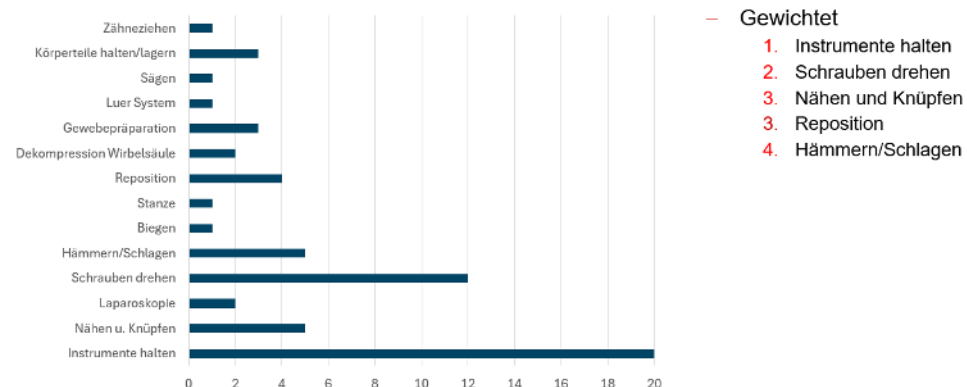
BISOP | S. Schleifenbaum, L. Tiesler

BEI WELCHEN TÄTIGKEITEN IM OP BENÖTIGEN SIE DIE MEISTE KRAFT?



BISOP | S. Schleifenbaum, L. Tiesler

WELCHE TÄTIGKEITEN IM OP SIND FÜR IHRE FINGERBEWEGUNGEN AM ERMÜDENDSTEN?



UNIVERSITÄT
LEIPZIG

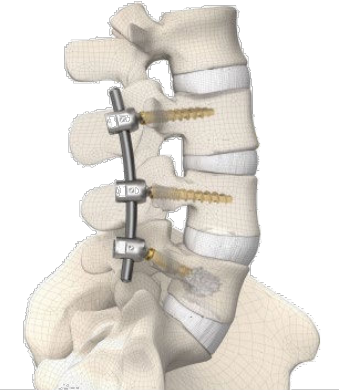
ZESBO 10

#1 Instrumente halten



<https://upload.wikimedia.org>, 26.11.2024

#2 Schrauben eindrehen



<https://signus.com>, 26.11.2024

#3 Haken halten



Auswertung der Vorstudie

Mittels eines Brainstormings wurden die drei relevanten Tätigkeiten identifiziert.

Fragestellung des Brainstormings:

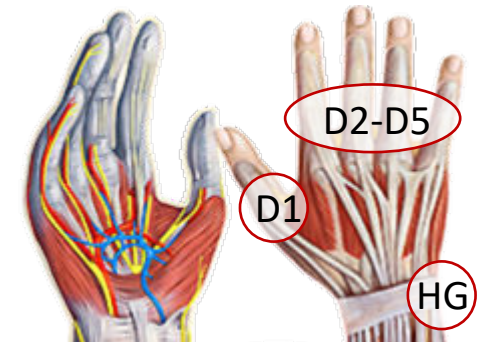
- Wo und Wie muss ich für den Fall unterstützen?
- Was muss ich während des Betriebs mit Sensoren messen?
- Welche technischen Hürden sind zu erwarten

Ableitung einer Anforderungsliste für das Gesamtvorhaben:

- Globale Anforderungen
- Anforderungen bzgl. der Teilfunktionen
 - Kraftverstärkung
 - Selbsthemmung ja/nein
 - Steifigkeit des Antriebs
 - Latenz in der Reglung für verschiedenen Szenarien

Kurze Erläuterung der äußersten oberen Extremitäten

- Die 5 Finger sind mit D1 bis D5 eingeteilt
- D1 ist dabei der Daumen
- HG steht auf den folgenden Folien für Handgelenk



Anforderungenliste			
Id	Bezeichnung	Art	Wichtigkeit
1	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
2	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
3	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
4	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
5	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
6	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
7	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
8	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
9	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
10	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
11	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
12	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
13	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
14	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
15	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
16	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
17	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
18	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
19	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
20	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
21	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
22	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
23	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
24	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
25	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
26	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
27	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
28	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
29	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
30	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
31	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
32	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
33	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
34	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
35	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
36	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
37	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
38	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
39	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
40	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
41	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
42	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
43	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
44	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
45	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
46	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
47	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
48	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
49	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
50	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
51	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
52	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
53	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
54	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
55	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
56	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
57	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
58	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
59	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
60	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
61	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
62	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
63	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
64	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
65	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
66	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
67	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
68	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
69	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
70	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
71	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
72	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
73	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
74	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
75	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
76	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
77	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
78	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
79	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
80	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
81	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
82	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
83	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
84	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
85	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
86	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
87	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
88	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
89	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
90	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
91	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
92	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
93	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
94	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
95	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
96	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
97	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
98	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch
99	Die Prothese muss die Handgelenk-Funktion übernehmen	Global	Hoch
100	Die Prothese muss die Finger-Funktion übernehmen	Global	Hoch

Auswertung der Vorstudie

Durch Überlagerung der jeweiligen Tätigkeiten ergeben sich die Anforderungen.

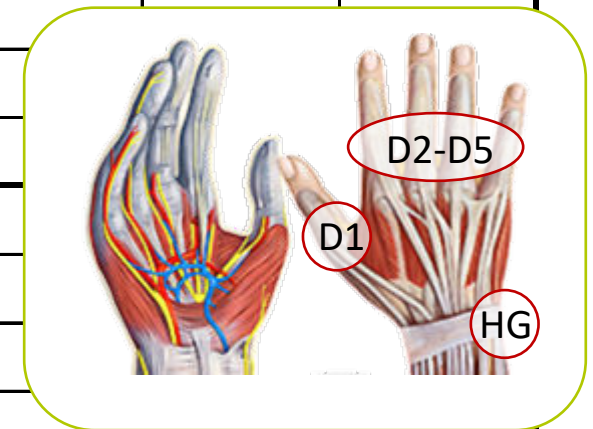
● Haken halten

● Schrauben

● Instrumente

Informationsbasis Ende 2024

Gelenke/Extrasbzw. Unterstützung		D1	D2	D3	Flex/ Ex	HG	Ad/Ab	Schulter	
Flexion / Abduktion / Pronation	Antrieb	●●●	●●●	●●●	●●●	●	●●		
	Fixieren	●●	●●	●●	●				
	Dämpfung (passiv)								
	Bewegungsfreiheit	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●		
Extension / Adduktion / Supination	Antrieb				●	●●			
	Fixieren								
	Dämpfung (passiv)								
	Bewegungsfreiheit	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●			
Ansteuerungsfrequenz bis 7 Hz			●		●●	●			
Schnelle Bewegung (80% Hub/1s)		●●	●●	●●	●	●●			
Abstützung quer zur Bewegung					●				
Kraftfeedback					●●	●●			



Auswertung der Vorstudie

Durch Überlagerung der jeweiligen Tätigkeiten ergeben sich die Anforderungen.

2 Übereinstimmungen Abduktion

- Antrieb in 2/3 Fällen

Gemeinsamkeit Handgelenk Flexion:

- Antrieb in allen 3 Fällen

Gemeinsamkeit Finger:

- Theor. Nur Flexion erforderlich
- Antrieb und Fixierung von D1 – D3 notwendig

2 Übereinstimmungen

Handgelenk Extension:

- Antrieb und Fixierung in 2/3 Fällen

Ansteuerungsfrequenz und

„schnelle Bewegung“ :

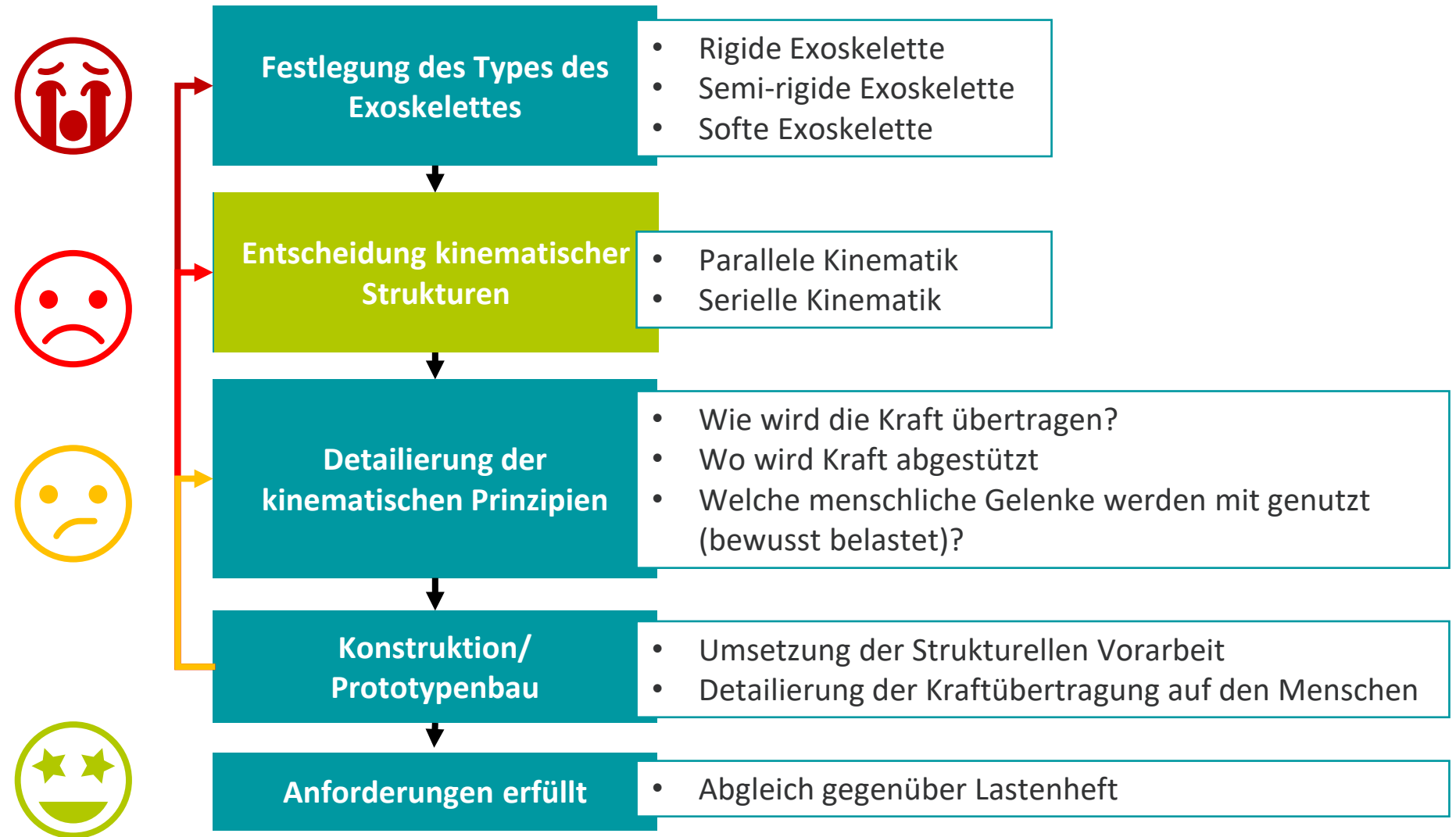
- Bestimmte Bewegungen müssen schnell ausgeführt werden können, damit sie nicht als hinderlich wahrgenommen werden.

Gelenke/Extrasbzw. Unterstützung		D1	D2	D3	Flex/Fx	HG Pro/Sup	Ad/Ab	Schulter	
Flexion / Abduktion /	Antrieb	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	★●●	●●●	●	?
	Fixieren	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●				●
Pronation Bewegungsfreiheit	Dämpfung (passiv)								
		●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●		
Extension / Adduktion /	Antrieb				★●●	●●●	★●●		
	Fixieren								
Supination Bewegungsfreiheit	Dämpfung (passiv)								
		●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●			
Ansteuerungsfrequenz bis 7 Hz		●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●		
Schnelle Bewegung (80% Hub/1s)		●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●		
Abstützung quer zur Bewegung					●●●				
Kraftfeedback					●●●	●●●			

Informationsbasis Ende 2024
sinnvolle Ergänzung

Entwicklungsschritte im Projekt

Die Entwicklung des Exoskelettes im Projekt BiSOP unterliegt einem iterativen Vorgehen.



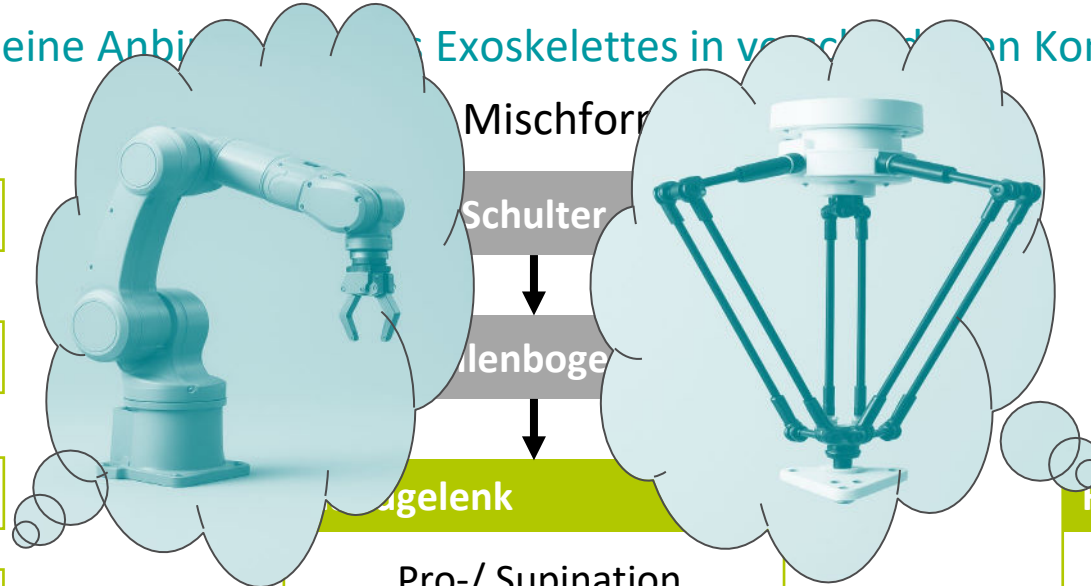
Kinematische Kette

Die Biomechanik erlaubt eine Analyse des Exoskelettes in verschiedenen Konfigurationen.

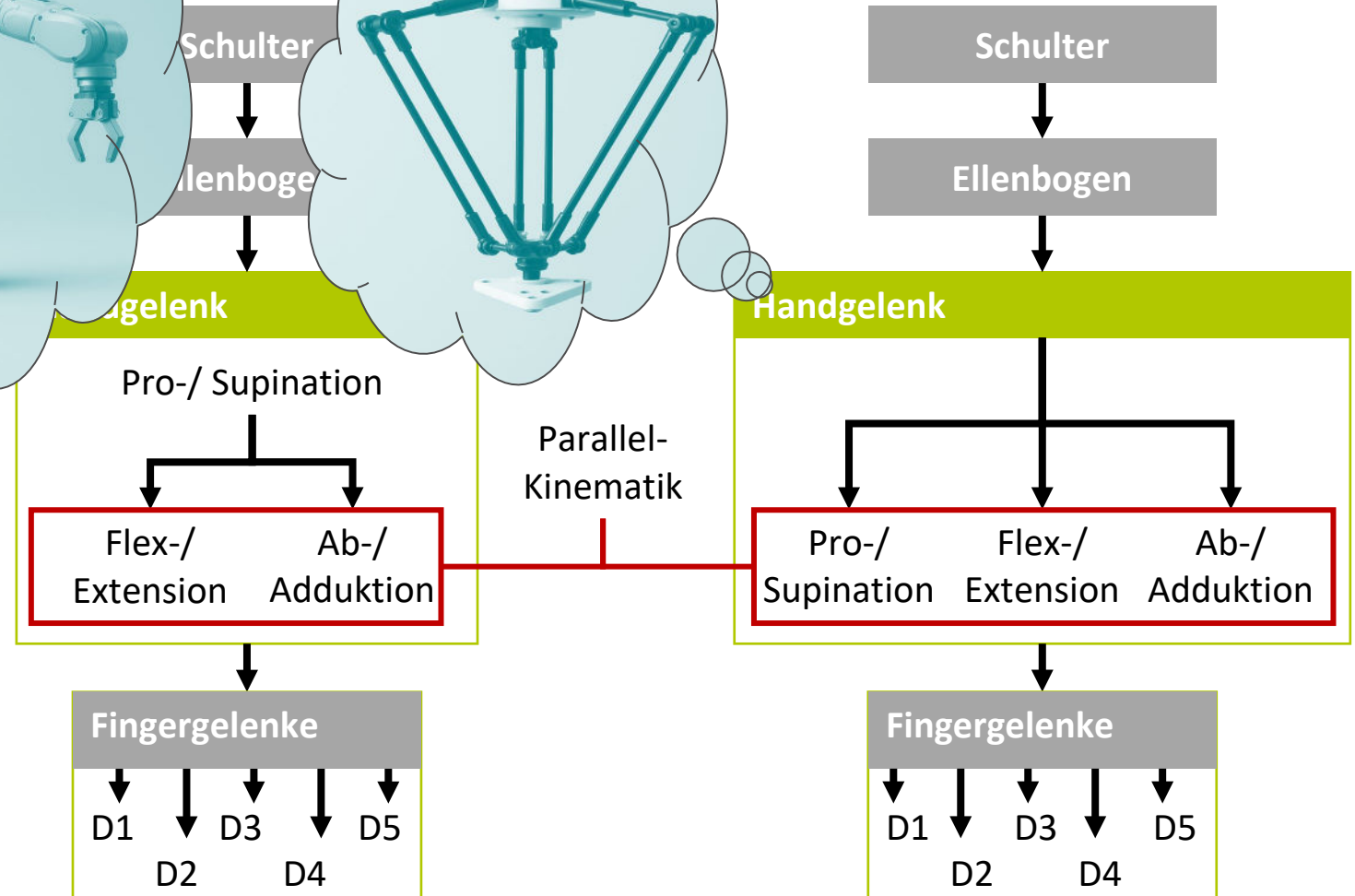
a) Seriell im HG



Mischform



b) Parallel im HG

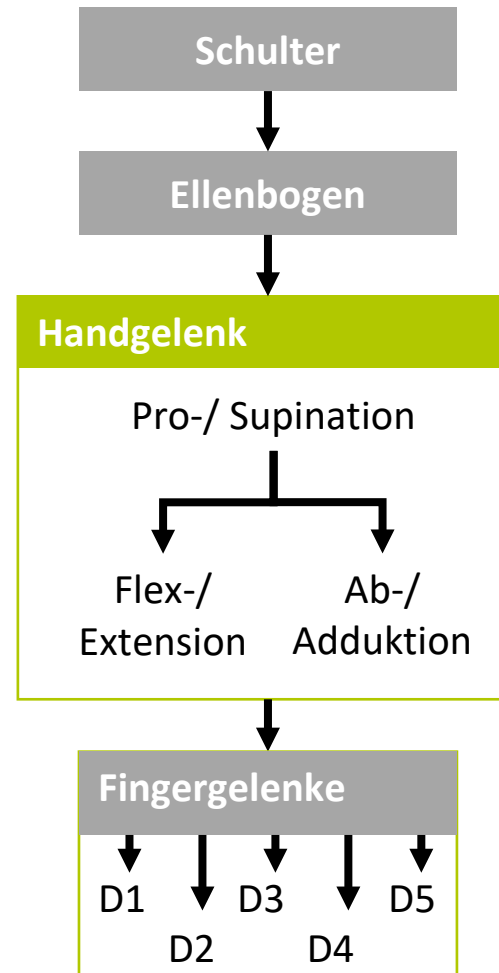


*FG ... Gelenk-Freiheitsgrad

Kinematische Kette

Die Biomechanik erlaubt eine Anbindung eines Exoskelettes in verschiedenen Konfigurationen.

c) Mischform im HG

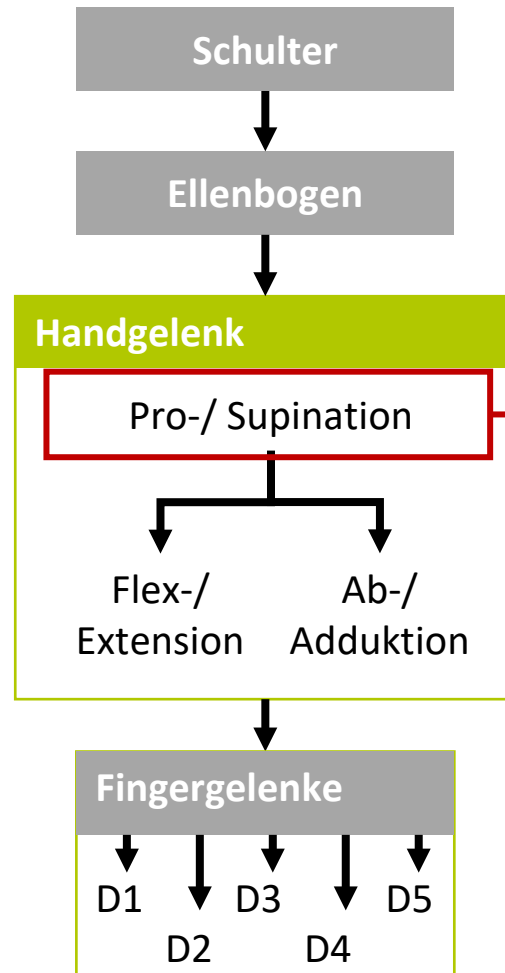


Startpunkt für die Entwicklung

Die Bandbreite der Entscheidungen ist n-dimensional: Kinematische Kette, Wirkprinzip, Detaillösung.

c) Mischform im HG

→ Wir greifen uns einen **Startpunkt für die Entwicklung** heraus



Aktuierter Mechanismus

- Unterstützung Elle-Speiche-Rotation
- Unterstützung des gesamten Bewegungsbereiches
- Angenehme Kraftübertragung

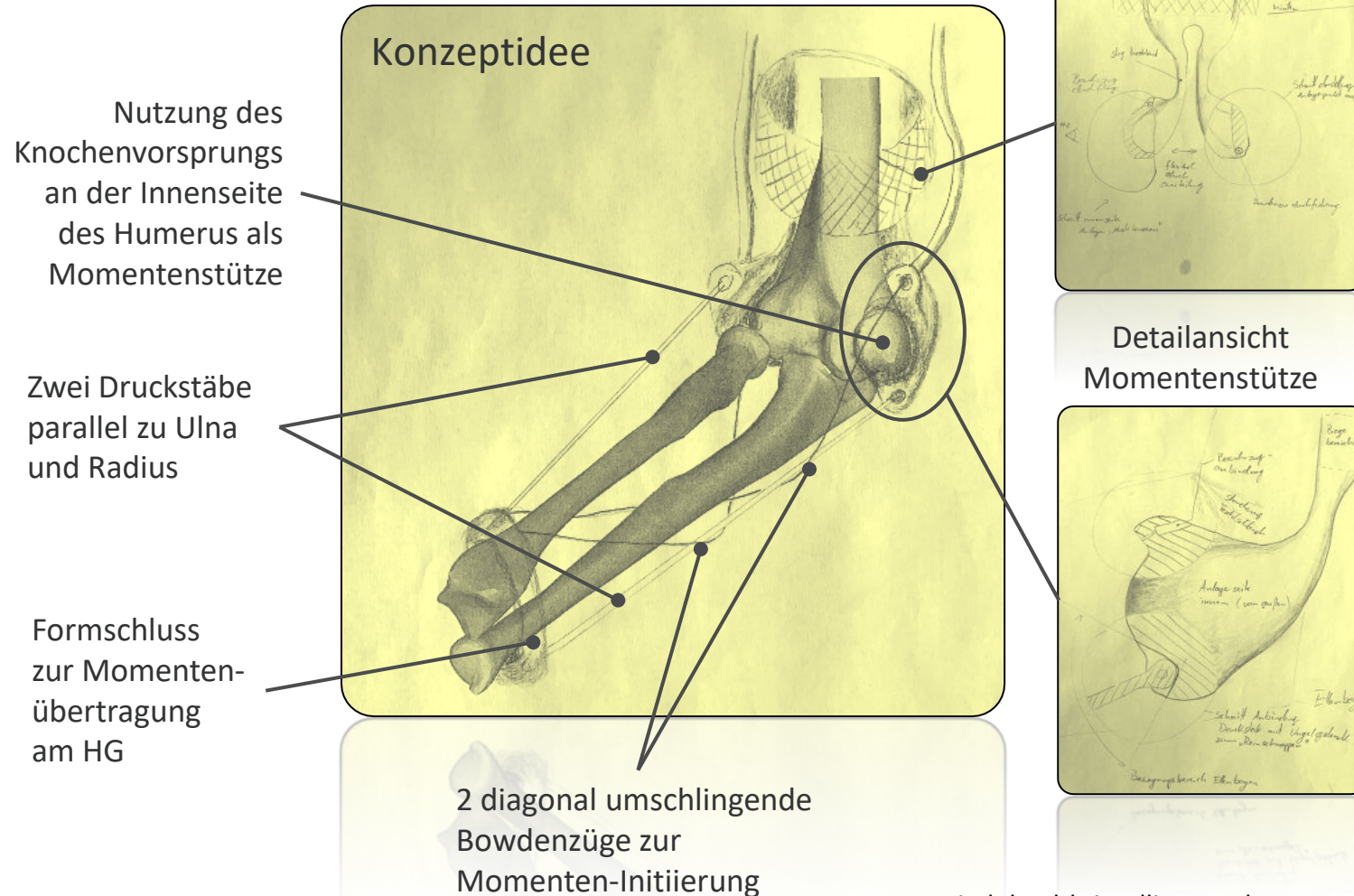
Antriebseinheit

- Ausreichend Antriebskraft
- Ausreichend Hub
- Agonistischer und Antagonistischer Antrieb
- Bauraum zunächst nebenrangig

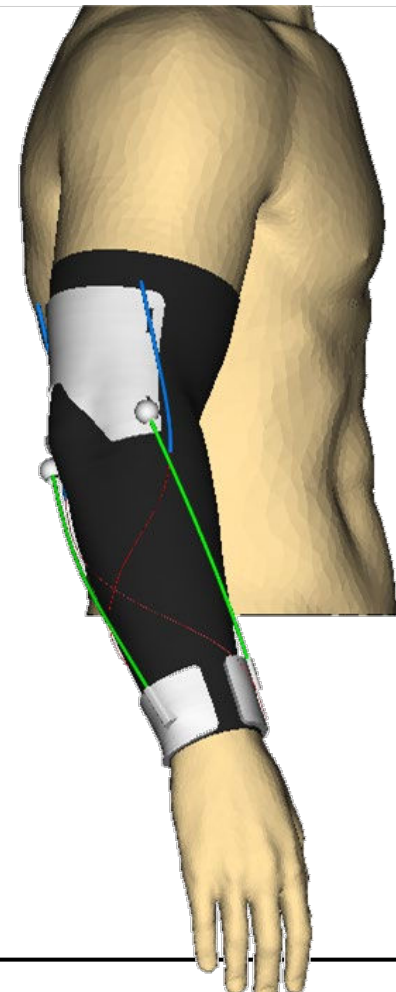
	Gelenke/Extrasbzw. Unterstützung	D1	D2	D3	Flex/ Ex	HG Pro/Sup	Ad/Ab	Schulter	Fixpunkt
Agonist	Antrieb	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●	?
	Flexion / Abduktion / Pronation	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		●
	Fixieren	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Dämpfung (passiv) Bewegungsfreiheit	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
Antagonist	Antrieb	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Extension / Adduktion / Supination	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Fixieren	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Dämpfung (passiv) Bewegungsfreiheit	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Ansteuerungsfrequenz bis 7 Hz	●	●	●	●	●	●		
	Schnelle Bewegung (80% Hub/1s)	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
	Abstützung quer zur Bewegung	●	●	●	●	●	●		
	Kraftfeedback	●	●	●	●	●	●		

Konzept für Pronation und Supination

Von Konzeptzeichnungen zum ersten CAD-Entwurf.



Entwurf eines ersten CAD-Modells

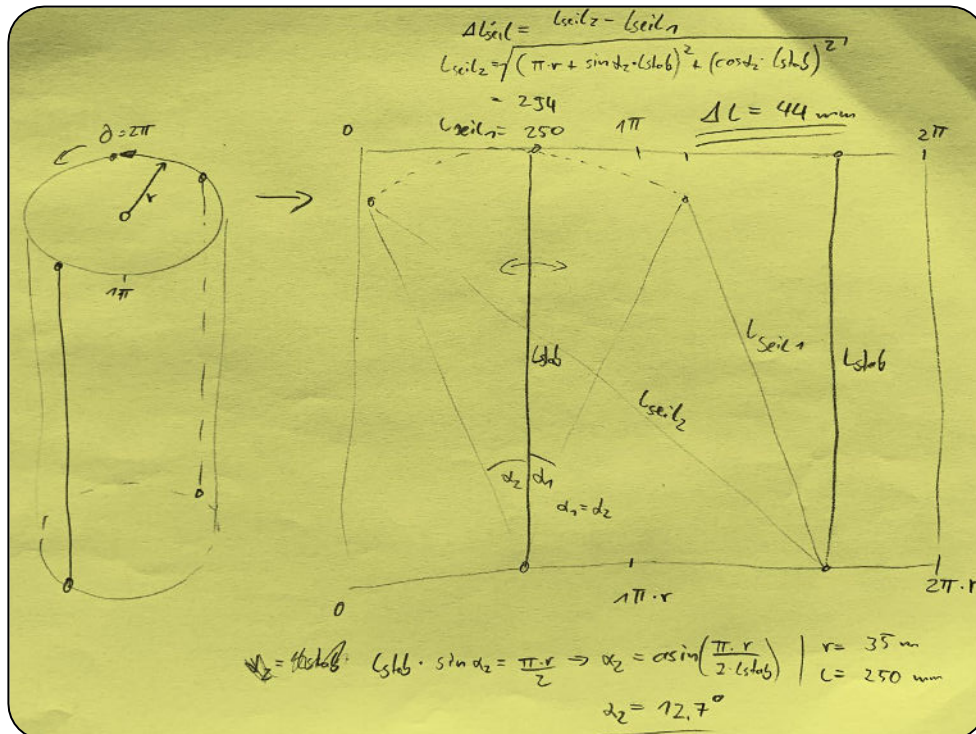


Konzept für Pronation und Supination

Das Wirkprinzip beruht auf der Torsion eines Zylinders.

Dieser Zylinder kann für eine überschlägige Berechnung abgewickelt werden.

Überschlägige Berechnung des Seilzugweges:



Vereinfachungen für die überschlägige Berechnung

- Unterarm ist zylindrisch → jeder Unterarm hat eine individuelle meist konische Form
- Die Pro- /Supination deckt einen Bewegungsradius von 180° ab → Bewegungsumfang individuell unterschiedlich

Kurzbeschreibung des Konzeptes:

- Ulna und Radius werden im Exoskelett durch Druckstäbe mit ähnlicher Lage abgebildet
- Die Rotation wird durch diagonal verlaufende Seilzüge initiiert.
- Bei einer Rotation von $+90^\circ$, einer Stablänge von 250mm und einem Durchmesser von 70mm ergibt sich in erster Annäherung ein $\Delta l = 44 \text{ mm}$ des aktuierten Seiles.

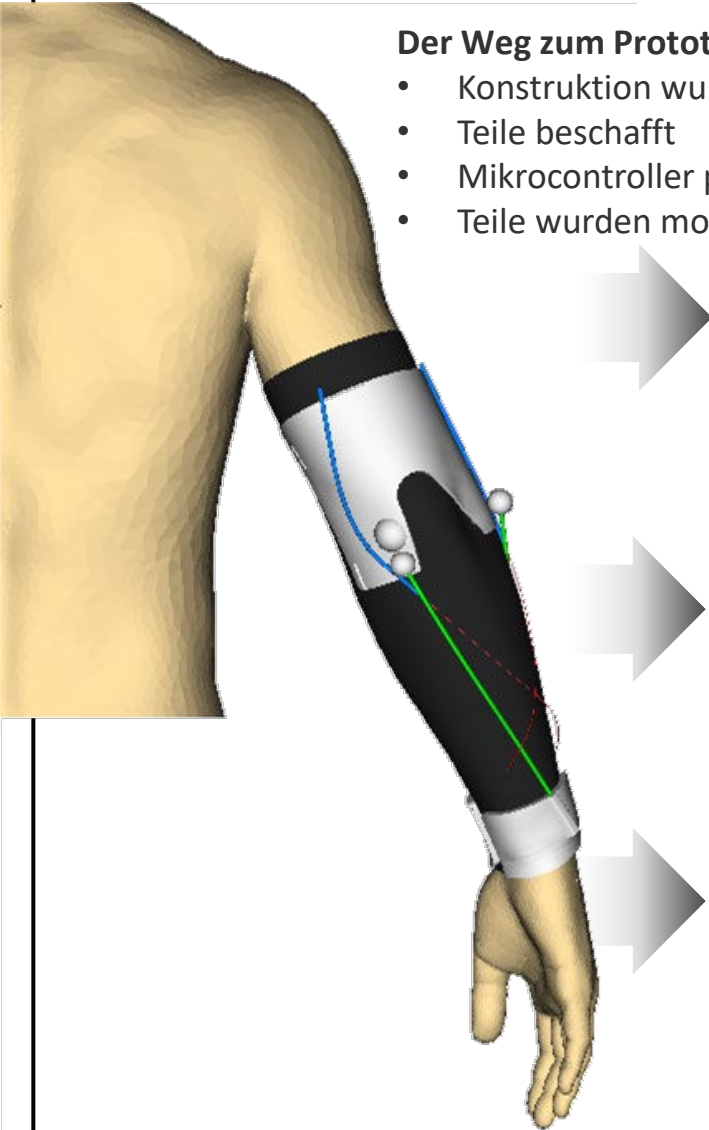
Dieser Hub wurde experimentell validiert

Konzept für Pronation und Supination

Vom CAD-Entwurf zum ersten Prototyp.

Der Weg zum Prototyp

- Konstruktion wurde verfeinert
- Teile beschafft
- Mikrocontroller programmiert
- Teile wurden montiert

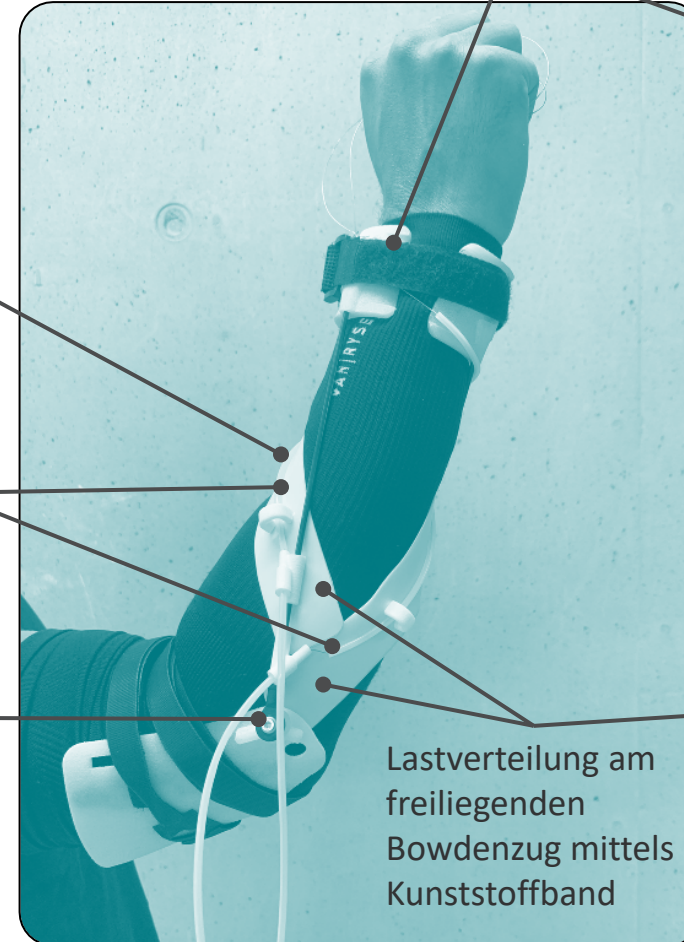


180° Umschlingungs-
winkel je Bowdenzug.

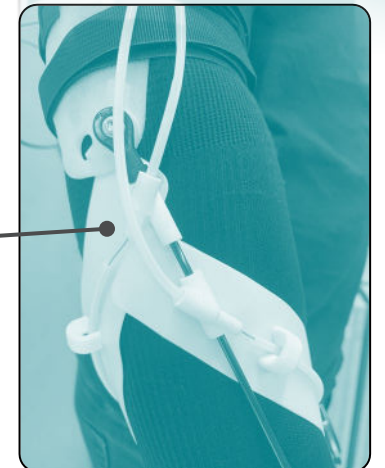
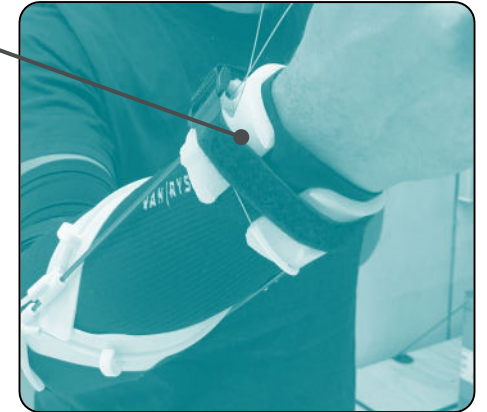
Schwimmende
Bowdenzughülle für
optimierte Reibung

Kugelgelenk für
Bewegungsfreiheit der
Ellenbogen-Bewegung

2-teilige Manschette zur Kraftverteilung
(thermisch anpassbar)



Lastverteilung am
freiliegenden
Bowdenzug mittels
Kunststoffband



Prototyp für Pronation und Supination

Ein erster Test des Prototyps – Es bewegt sich was!



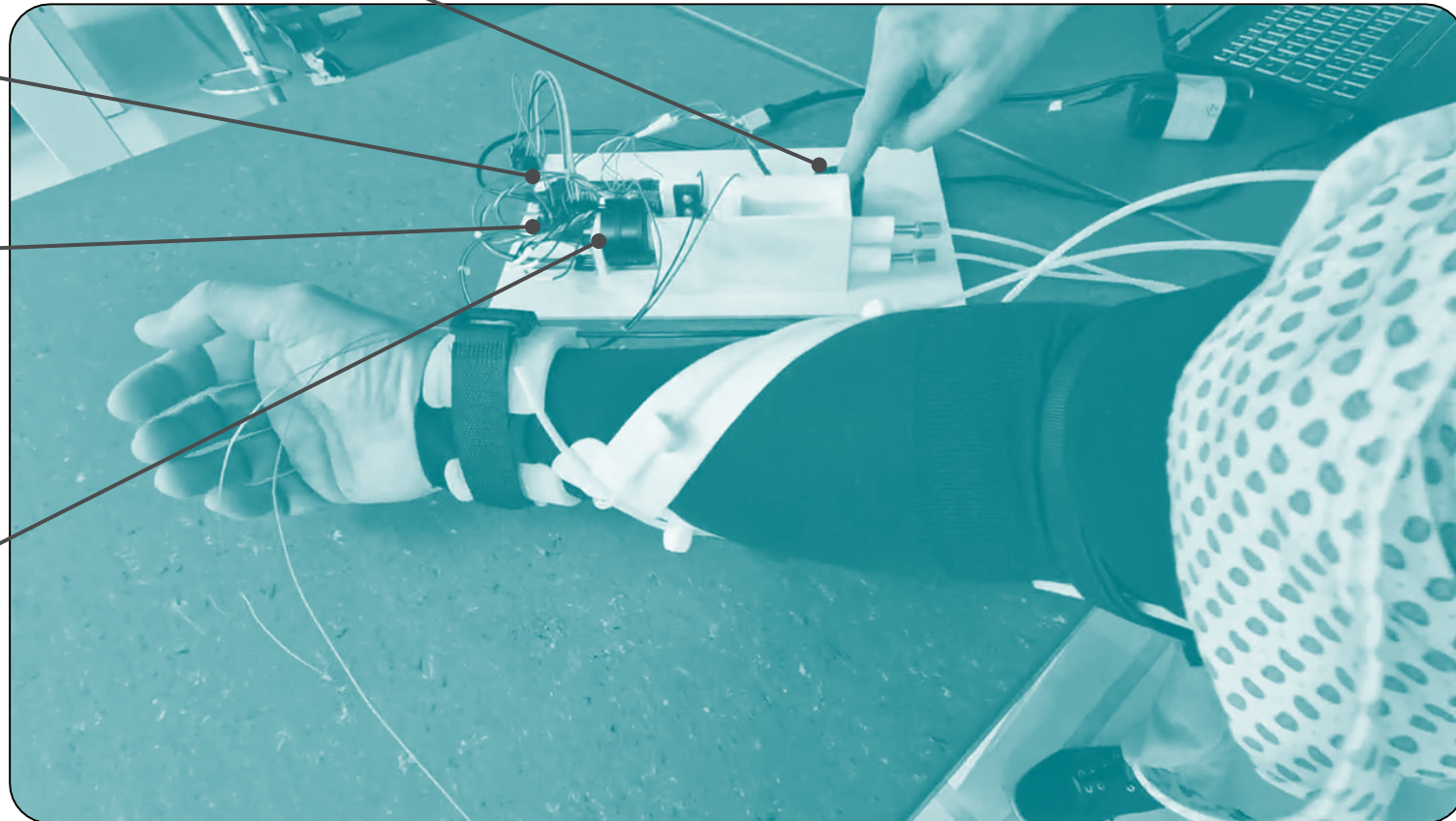
„Intelligente“ Steuerung
ist in Planung

Steuerung:
Magnetischer Encoder

Mikrocontroller:
Teensy 4.1

Motortreiber:
Simple FOC Mini

Antriebsmotor:
GM3506 → BLDC
Gimbalmotor

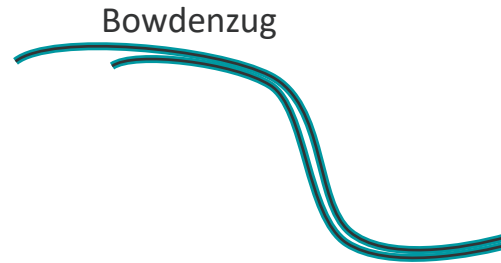


Learnings aus dem Prototyp

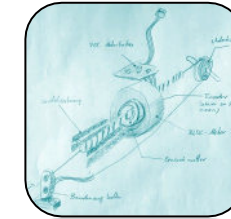
Der erste Prototyp hat Potenzial für Verbesserungen.



- Kompressibilität des Unterarms sorgt für den größten Hubverlust
- Bewegungsumfang für Flex-/Extension und Ab-/Adduktion durch Manschette gehemmt → Manschette optimieren
- Kraftübertragung der Manschette muss über die Flanken geschehen → individuelle Anpassung
- Schnellverschlussystem für Bowdenzüge implementieren
- Nicht-Linearität von Agonist und Antagonist berücksichtigen



- Drucksteifigkeit der Bowdenzughülle unzureichend für Pronation/Supination
- → drucksteifere Hülle



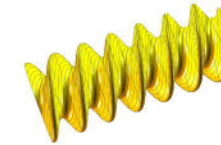
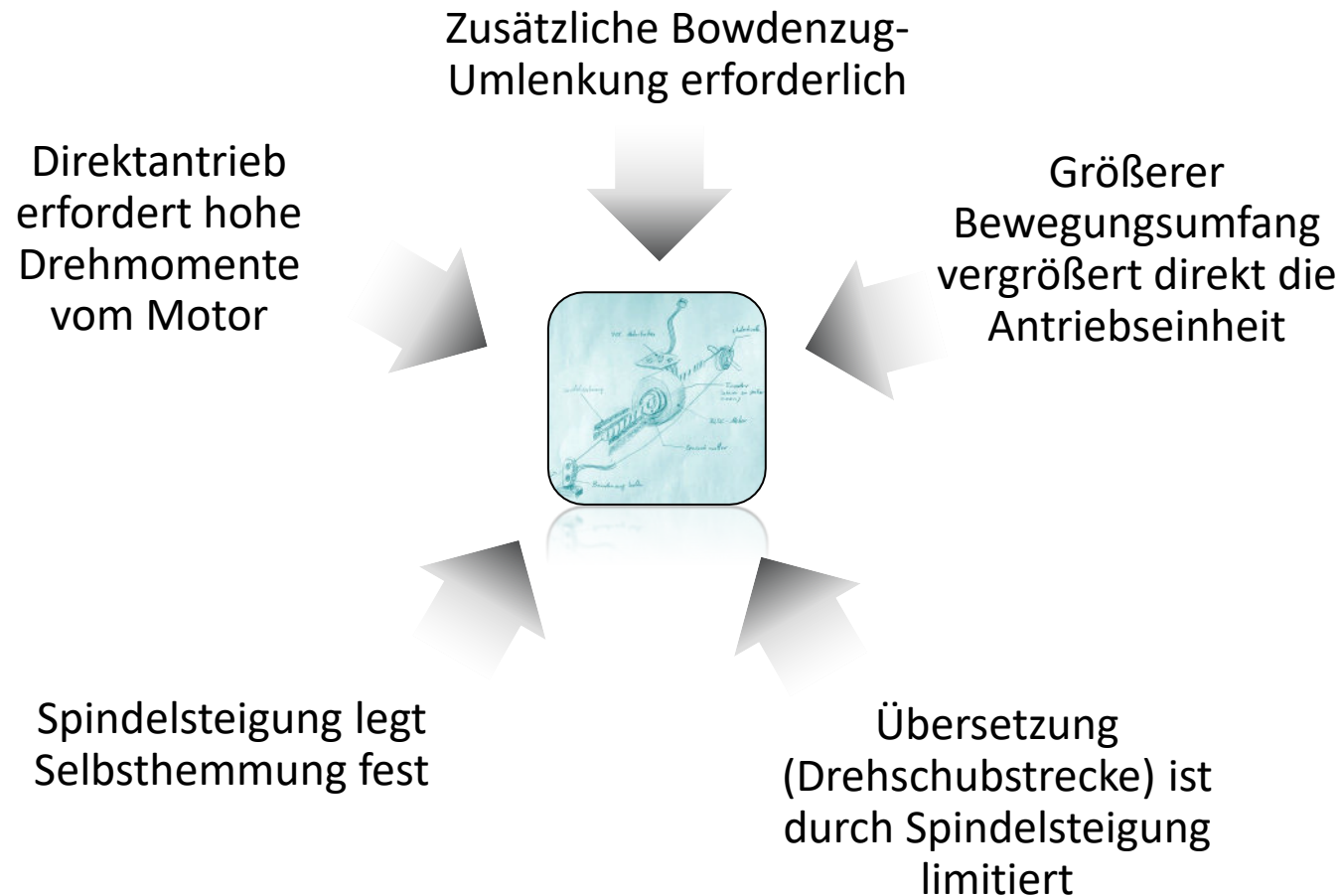
- Bewegungsumfang vergrößern
 - Endlos Förderung
 - Lösung mit Aufwickeln besser geeignet
- Selbsthemmung effektiv vermeiden
- Bauraum reduzieren



- Sensorik
 - Wie bekommen wir die Intension des Nutzers erfasst?
 - Welcher Parameter müssen wir dafür tracken?

Learnings aus dem Prototyp

Mit Getriebe läuft's besser.



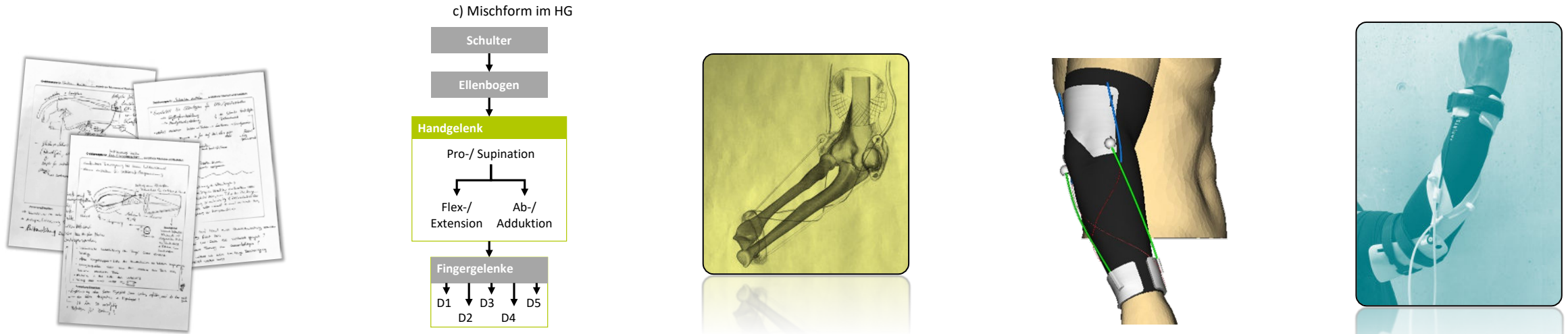
Aus einem Projekt mit:
IMS:GEAR

Eine Antriebslösung mit einer Einrichtung zur Bewegungsumformung (Getriebe) scheint unumgänglich zu sein



Der Blick auf das Ganze

Zusammenfassung zum aktuellen Zeitpunkt – das Projektziel im Blick.



Randbedingen
erarbeitet



Strukturelle
Lösungen



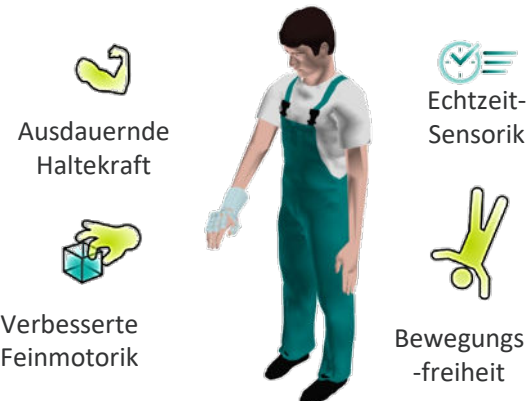
Kinematischen
Prinzipien



Detailierung und
Konstruktion



Prototyping



Kann das Ziel des Projektes erreicht werden?

→ Simulation der Interaktion zwischen Exoskelett und Mensch durch
imk Industrial Intelligence GmbH

Projektgegenstand der imk Industrial

Die imk Industrial Intelligence GmbH ist im Projekt verantwortlich für die simulative Ergonomiebetrachtung

Simulative Ergonomiebetrachtung

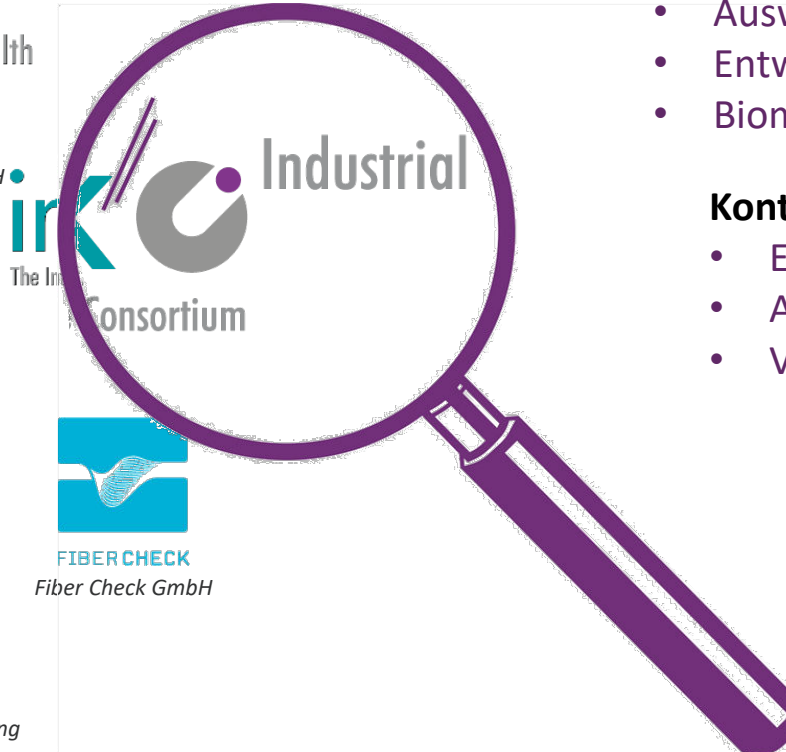
- Auswahl geeigneter Methoden zur Ergonomiebewertung
- Entwicklung eines Simulationsmodells auf Basis der Use Cases
- Biomechanische Analyse auf Grundlage von Probandenstudien

Kontinuierliche Potentialanalyse

- Ergonomiebewertung IST-Situation & mit Exoskelett-Einsatz
- Auswirkung hinsichtlich Unterstützungswirkung & Interaktionskräften
- Variantenvergleich & Ableitung von Gestaltungspotentialen



UNIVERSITÄT LEIPZIG



Vorteile biomechanischer Simulation

Einsatz von Simulationstools zum schnellen & kosteneffizienten Design

Biomechanische/physiologische Bewertung
von Exoskeletten/Orthesen/Prothesen

Test & Optimierung von

- Designvarianten in der Entwurfsphase
- Verschiedenen Anwendungsfällen
- Spezifische Nutzerpopulationen

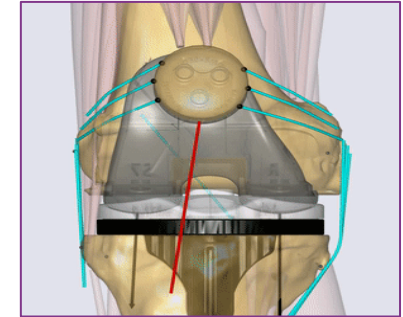
Integration von **CAD-Daten** &
reale Bewegung per **Motion Capturing**



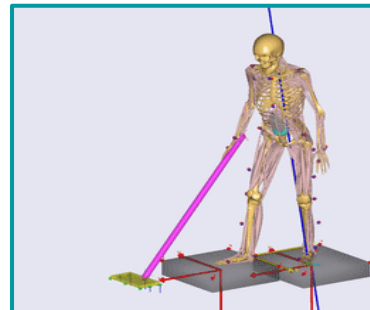
Sport



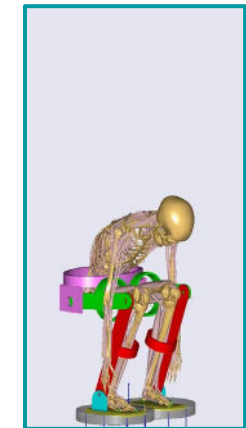
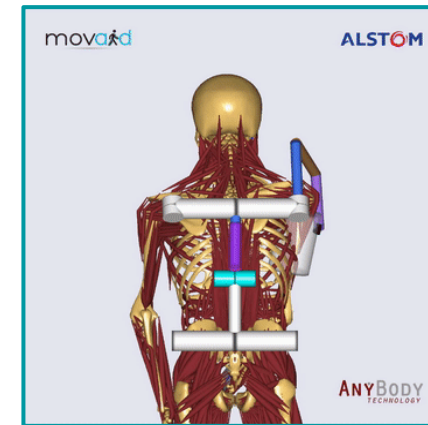
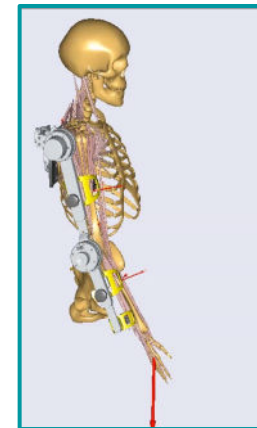
Ergonomie



Orthoädie



Konsumprodukte



Exoskelette

Quelle: WearRAcon 2020

Softwaresysteme zur Modellierung

Vergleich & Auswahl des im Forschungsprojekt zu verwendeten Systems

OpenSim

- **Open Source** Software
- Simulation & Auswertung von Muskelaktivität & Gelenkwinkel/-momente
 - Modelle von Hand/Fingern nur begrenzt verfügbar, Aufwand zur Anpassung/Entwicklung eines präzisen Handmodells sehr hoch
- Begrenzte Berücksichtigung von externen Lasten & Arbeitsumgebung
- Hand-Model basiert auf Daten eines einzelnen Kadavers ➔ begrenzte allgemeine Anwendung



OpenSim

demoa

- **Entwickler:** TU Delft
- **Open Source** Software zur muskuloskelettalen Modellierung
- aktuell kein Handmodell vorhanden

demoa

A biophysics simulator for muscle-driven systems.

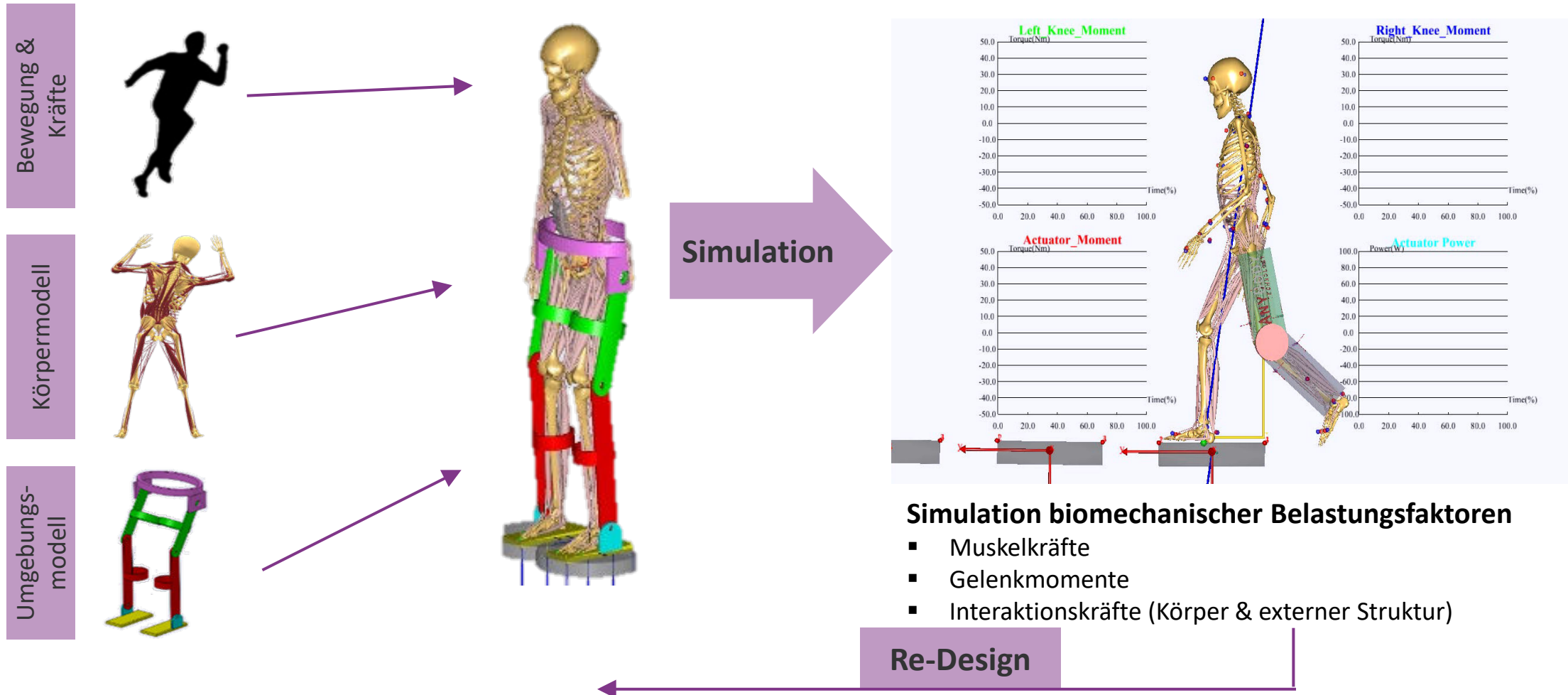
AnyBody Modeling System

- **Hersteller:** AnyBody Technology A/S
- Simulation & Auswertung von Muskelaktivität & Gelenkwinkel/-momente
 - Detaillierte Modelle der Hand & der Finger verfügbar
 - ➔ Regensburg-Ulm Hand Model (RUHM) von Engelhardt & Melzner

ANYBODYTM
TECHNOLOGY

AnyBody Modeling System

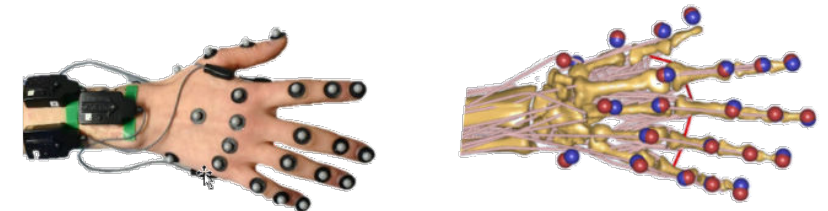
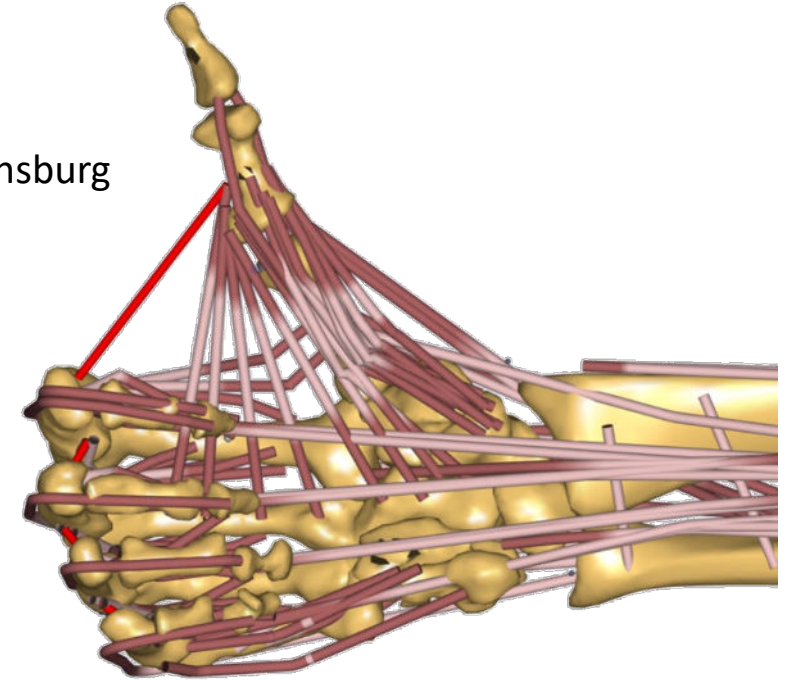
Ein Tool zur biomechanischen Simulation von AnyBody Technology A/S



Regensburg-Ulm Handmodell (RUHM)

Modell im AnyBody Modeling System

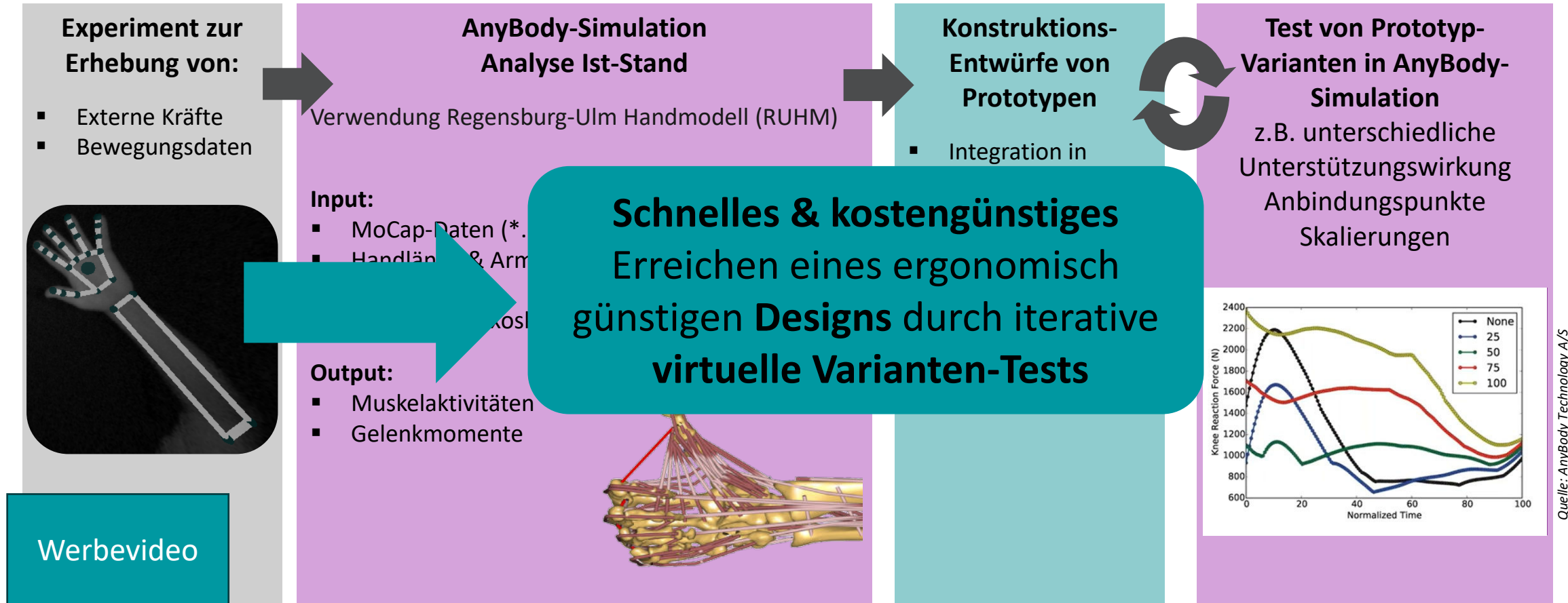
- Entwickelt durch Universität Ulm & Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
- **Detailliertes Handmodell** mit **22 Handsegmente** (inkl. Elle und Speiche) als Starrkörper mit physiologisch idealisierten Gelenken ➔ insgesamt **31 DOF**
- Distales & Proximales Interphalangeal als Drehgelenke, Metacarpophalangeal als Kugelgelenk
- Bewegung Daumen über mehrere Drehgelenke



Quelle: Engelhardt & Melzner, 2020

Nutzung von Experiment & Simulation im Projekt

Iterative Vorgehensweise für virtuelle Varianten-Tests



Quelle: AnyBody Technology A/S

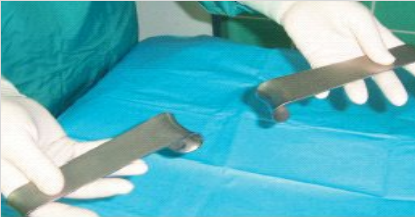
Probandenstudie durch Projektpartner Universitätsklinikum Leipzig

Untersuchung von 3 identifizierten Use-Cases | 15 Versuchspersonen

UNIVERSITÄT LEIPZIG



imk Industrial
The Intelligence Consortium

Use Cases	Haken halten  Wunde offenhalten mit Wundhaken Kraft zum Auseinanderziehen der Wundöffnung	Schrauben eindrehen  Schrauben in Knochengewebe eindrehen mit Schraubenzieher Druck auf Schraubengriff & repetitive Bewegung des Handgelenks / Unterarms	Nähen Wunde  Vernähen einer Wundöffnung mit Nadelhalter Repetitive Bewegung des Handgelenks / Unterarms (Nadelhalter in geschlossener Position fixiert)
	Messdaten - Motion Capturing (Leap Motion) - Handkraftmessung - Axialkraft & Biegemoment des Hakens	Messdaten - Motion Capturing (Leap Motion) - Handkraftmessung - Drehmoment des Schraubers	Messdaten - Motion Capturing (Leap Motion)

1 x subjekt-spezifische Maximalkraft mit Handkraftmessgerät

Aufbau Simulationsmodell

Entwickelte Vorgehensweise zur weiterführenden Simulation & Variantenvergleich

Konvertierung der MoCap-Daten von .json (Leap Motion) zu .c3d per Python-Skript

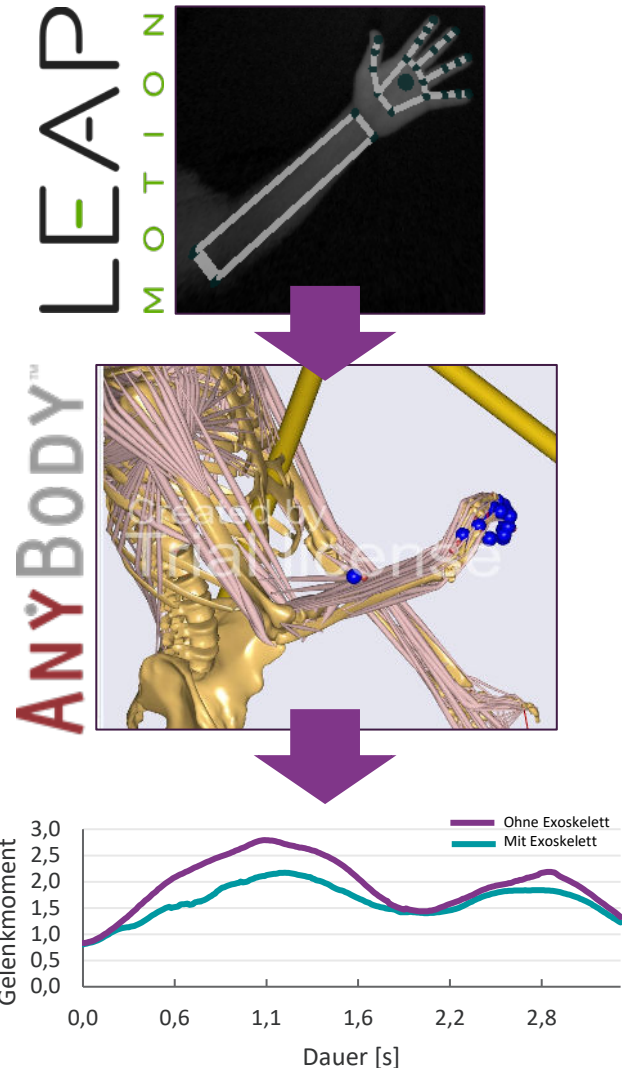


Erstellung des AnyBody-Models

- **Input**
 - MoCap-Daten (*.c3d)
 - Handlänge & Armlänge zur Skalierung
 - externe Kräfte
 - Exoskelett-Daten (CAD, Kontaktpunkte Mensch, Unterstützungswirkung)
- **Modell-Anpassung**
 - Marker-Mapping Leap Motion & AnyBody
 - Verbindung MoCap Modell AnyBody & RUHM
 - Initiale Position Menschmodell auf Basis MoCap
- **Automatische Berechnung von Bewegung & inverser Dynamik**
- **Output (Auswahl)**
 - Gelenkmomente im Handgelenk
 - Muskelaktivitäten der Fingerbeuger & Unterarm



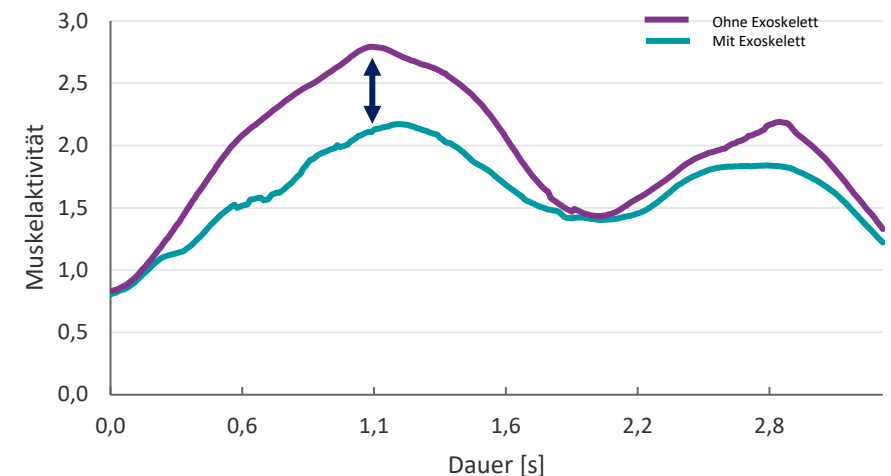
Automatisierte Aufbereitung des Outputs mittels Python-Skript



Ergebnisse der Simulation

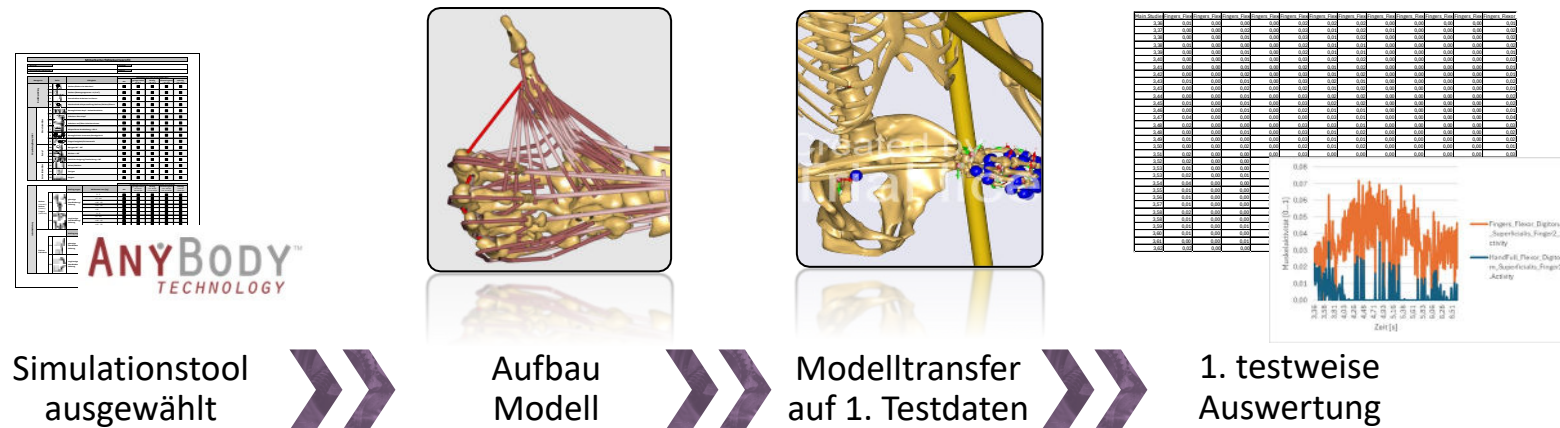
Potentialanalyse mittels AnyBody Modeling System

- **Abgleich der Belastungsfaktoren ohne Exoskelett vs. mit Exoskelett**
 - Anhand der Bewegung des Ist-Zustandes
- **Evaluierung von Prototyp-Varianten in AnyBody z.B. hinsichtlich**
 - Unterstützungspotential
(Reduktion der aufzubringenden menschlichen Kraft, Unterstützungswirkung Exoskelett)
 - Position & Ausgestaltung der Verbindungsstellen zum Körper
 - Abmessungen (z.B. Teillängen) des Exoskeletts
- **Auswahl der Prototypen-Vorzugsvariante**
 - auf Basis Nutzwertanalyse



Der Blick auf das Ganze

Zusammenfassung zum aktuellen Zeitpunkt – das Projektziel im Blick.



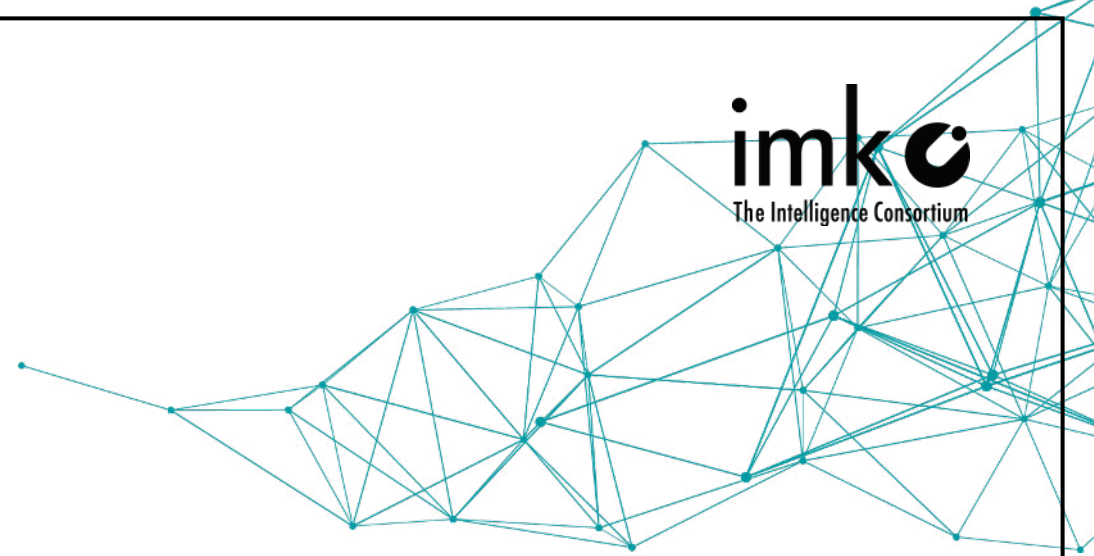
Ausblick

Die nächsten Schritte im Projekt

- Probandenstudien ab Q3/2025
- ➔ Anreicherung der Simulation mit Probandendaten & Auswertung
- Kontinuierliche Weiterentwicklung auf Basis der Erkenntnisse aus Experiment & Simulation



Kontakt



Dr. Sascha Ullmann

Bereichsleiter
Digitale Planung & Ergonomie
+49 (0) 172 462 68 42
sascha.ullmann@imk-ic.com
www.imk-industrial-intelligence.com



Florian Eigner

Entwicklungsingenieur
Antriebstechnik & Verzahnung
+49 (0) 371 400 97 334
florian.eigner@imk-ic.com
www.imk-health-intelligence.de